



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.942

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АТМОСФЕРНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОГОДЫ NWP В ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

¹Некрасов Т.Д., Лозница С.Ю., ²Дроц Т.С., ³Боровикова Д.В.

ФГБОУ ВО "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ ИМЕНИ ГЛАВНОГО МАРШАЛА АВИАЦИИ А.А. НОВИКОВА", Санкт-Петербург, Россия (196210, город Санкт-Петербург, ул. Пилотов, д.38), e-mail: ¹Kvakolka885@gmail.com, ²drots2005@mail.ru, ³borovikovadasha05@mail.ru

В статье рассматриваются принципы и технические возможности численного прогнозирования погодных условий на территории аэродрома. Составление прогноза TAF и составление сводок GAMET.

Ключевые слова: ЭВМ, СЭВМ, Прогноз, Погодные явления, Атмосферные явления, дифференциальные уравнения, МКР.

USING A MATHEMATICAL MODEL OF ATMOSPHERIC EQUATIONS FOR NUMERICAL NWP WEATHER FORECASTING IN CIVIL AVIATION.

¹Nekrasov T.D., Loznitsa S.Yu., ²Drotz T.S., ³Borovikova D.V.

"ST. PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF CIVIL AVIATION NAMED AFTER AIR CHIEF MARSHAL A.A. NOVIKOV", St. Petersburg, Russia (196210, St. Petersburg, ул. Pilotov, д.38), e-mail: ¹Kvakolka885@gmail.com, ²drots2005@mail.ru, ³borovikovadasha05@mail.ru

The article examines the principles and technical possibilities of numerical forecasting of weather conditions on the territory of the airfield. Making a TAF forecast and compiling GAMET summaries.

Keywords: Computer, SuperComputer, Forecast, Weather phenomena, Atmospheric phenomena, differential equations, Finite difference method.

Проблема получения прогноза погоды никогда не теряла своей актуальности. На данный момент используется численное прогнозирование погоды NWP (Numerical weather prediction). Современное численное прогнозирование погоды основано на использовании компьютерных моделей, которые учитывают множество параметров, таких как температура воздуха, влажность, скорость и направление ветра, атмосферное давление и др. Эти модели позволяют делать прогнозы на различные временные промежутки, от нескольких часов до нескольких недель вперед.

Для численного прогнозирования метеорологических явлений используются каскады примитивных атмосферных уравнений. Примитивные атмосферные уравнения - это уравнения, описывающие основные процессы, происходящие в атмосфере Земли. С их помощью можно моделировать различные явления, такие как циркуляция воздуха,

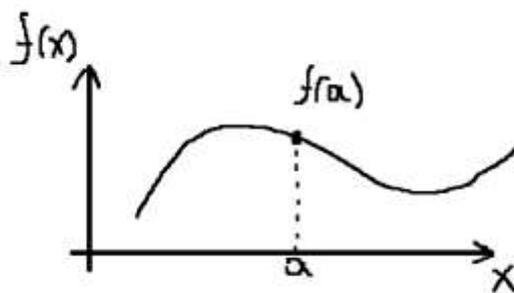
формирование облаков, погодные изменения. Эти уравнения показывают изменения плотности, давления и температуры в атмосфере с течением времени. Данные проходят через нелинейные уравнения частных производных. Используются разные модели решения математико-метеорологических задач. Некоторые глобальные модели используют метод конечных разностей для пространственного счисления. Метод конечных разностей (МКР) является достаточно универсальным численным методом ориентированным на решение задач с граничными условиями как в одномерных, так и многомерных системах. Причем МКР является одним из немногих численных методов, который может быть использован для решения математических моделей процессов (объектов) с распределенными параметрами, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных. В этом случае переменные исследуемой модели могут зависеть как от времени t , так и от пространственных координат (x, y) в двумерном случае и (x, y, z) в трехмерном.

Общей идеей МКР является сведение исходной задачи с граничными условиями (краевой задачи) к более простой задаче решения системы линейных или нелинейных алгебраических уравнений. Вид получаемой системы алгебраических уравнений зависит от вида исходного дифференциального уравнения. Конечно-разностные уравнения в МКР получают путем замены производных в исходном дифференциальном уравнении соответствующими конечно-разностными выражениями. Конечно-разностные выражения для какой-либо частной производной можно получить из разложения функции в ряд Тейлора по соответствующей переменной. Многочлен Тейлора используется для решения задач аппроксимации. **Аппроксимация** (от лат. *proxima* — ближайшая) или **приближение** — научный метод, состоящий в замене одних объектов другими, в каком-то смысле близкими к исходным, но более простыми.

Аппроксимация позволяет исследовать числовые характеристики и качественные свойства объекта, сводя задачу к изучению более простых или более удобных объектов.

Ряд Тейлора – это разложение некоторой функции в бесконечный ряд.

Пусть есть некоторая функция $f(x)$, которая непрерывна и дифференцируема, причем функция дифференцируема число K раз в некоторой точке a .



Изобразим график функции. Мы можем определить полином(многочлен) Тейлора. Он означает, что функция $f(x)$ в точке a равна:

$$f(x) = f(a) + f'(a)(x - a) + \frac{f''(a)}{2}(x - a)^2 + \dots + \frac{f^{(k)}(a)}{k!}(x - a)^k$$

Выходит так, что ξ окрестность можно представить в виде вышенаписанного многочлена.

Рассмотрим случай, в котором функция дифференцируема в точке a неограниченное число раз. $k=\infty$ (к примеру экспонента).

$$f(x) = f(a) + f'(a)(x - a) + \dots + \frac{f(a)^k}{k!} (x - a)^k + \dots \text{ до бесконечности}$$

Сама функция $f(a)$ – это производная нулевого порядка. Тогда $f'(a)(x - a)$ производная первого порядка.

Приведем запись к следующему виду: (где $n=k$)

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{f(a)^n}{n!} (x - a)^n$$

Например, разложение функции $u(x, y)$ по координате x будет иметь вид:

$$u(x_i + h, y_j) = u(x_i, y_j) + h \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + \text{члены более высоких порядков малости}$$

где h – приращение x в точке.

Отбросив члены более высоких порядков малости и выразив частную производную, получим:

$$u_{xx} \equiv \frac{\partial u}{\partial x} \approx \frac{u(x_i + h, y_j) - u(x_i, y_j)}{h} = \frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{h}$$

Таким образом, решая атмосферные уравнения с помощью МКР, можно просчитывать прогноз погоды. Разберем некоторые решения атмосферных уравнений. (Обратим внимание, что расчет используется для городской среды с пространственным разрешением 0,5-1 км).

Разберем математическую модель TSUNM3, развиваемую в Томском университете и институте оптики атмосферы имени В.В.Зуева. СО РАН мезомасштабной негидростатической модели высокого разрешения TSUNM3 (Tomsk State University Nonhydrostatic Mesoscale Meteorological Model).

Математическая модель оперирует следующими уравнениями:

- Уравнение неразрывности
- Уравнения движения
- Уравнение баланса энергии
- Уравнение Параметризации микрофизики влаги
- Уравнения Процессов аккреции (захвата) облачной влаги дождевыми каплями, снежинками и частицами
- Уравнения Процессов испарения или конденсации с участием дождевых капель
- Таяние (плавление) снежинок или снежной крупы с образованием дождевых капель
- И другие уравнения состояния атмосферы.

Приведем к примеру уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0.$$

Уравнение движения:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho f v + \\ + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z^m \frac{\partial u}{\partial z} \right),$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} - \rho f u + \\ + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z^m \frac{\partial v}{\partial z} \right),$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} - \rho g + \\ + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z^m \frac{\partial w}{\partial z} \right).$$

Здесь t – время; u , v , w – продольная, поперечная и вертикальная компоненты вектора осредненной скорости ветра в направлении декартовых координат x , y , z соответственно; ρ – плотность; f – параметр Кориолиса; K_H – коэффициент горизонтальной диффузии; K_z^m – коэффициент вертикальной диффузии количества движения; g – ускорение свободного падения; p – давление.

После инициализации данных их обрабатывают супер – компьютеры. Инициализация данных производится с метеостанций, позже вся информация отправляется на ЭВМ. На которой с помощью математического аппарата TSUNM3 высчитывается прогноз погоды с разными вероятностями. Одним из таких является TAF (Terminal Aerodrome Forecast). В TAF есть группа PROB, в которой указывается вероятность того или иного атмосферного явления. Вероятность может указываться только в 30% и 40%. 50% В авиации вероятностью не считается. Данные по прогнозу TAF пилоты обязаны учитывать при полете. Так же существует прогноз GAMET и AIRMET с SIGMET сводкой. В отличие от TAF, который показывает прогноз погоды в районе аэродрома, вышеперечисленные прогнозы используются пилотами для определения условий на высоте. В прогнозах GAMET и AIRMET могут указываться передвижения воздушных масс, высчитанных с помощью математических уравнений, направление и скорость ветра, турбулентность, давление, циклоны, антициклоны, опасные погодные явления.

Пример GAMET:

YUCC GAMET VALID 220600/221200 YUDO –
YUCC AMSWELL FIR/2 BLW FL120
SECN I
SFC WIND: 10/12 310/16MPS
SFC VIS: 06/08 N OF N51 3000M BR

SIGWX: 11/12 ISOL TS MT OBSC: S OF N43 MT PASSES
SIG CLD: 06/09 N OF N51 OVC 800/1100FT AGL 10/12 ISOL TCU 1200/8000FT AGL
ICE: MOD FL050/080
TURB: MOD ABV FL090
MTW: 10/15 N OF N43 MOD ABV FL080
SIGMETS APPLICABLE: 3, 5
SECN II
PSYS: 06 N5130 E01000 1004HPA MOV NE 25 KT WKN
WIND/T: 2000FT N5500 W01000 270/18MPS PS03 5000FT N5500 W01000 250/20MPS
MS02 10000FT N5500 W01000 240/22MPS MS11
CLD: BKN SC 2500/8000FT AGL
FZLVL: 3000FT AGL
MNM QNH: 1004HPA
SEA: T15 HGT 5M
VA: NIL

Прогнозы TAF GAMET AIRMET используются пилотами при выполнении полетов.

Прогнозы погоды играют важную роль в авиации. Пилоты нуждаются в точных и надежных прогнозах погоды, чтобы принимать решения о безопасности полета, маршруте и времени прибытия.

Воздействие погоды на авиацию может быть разнообразным, от турбулентности и гроз до сильного ветра и тумана. Некорректная оценка и прогноз погодных условий может привести к задержкам рейсов, отменам, авариям и даже катастрофам.

Данные о собранных погодных явлениях обрабатываются на ЭВМ. Зачастую мощностей ЭВМ не хватает для точного и долгосрочного прогноза. Предлагается воспользоваться системой SharePC. Данная система расчета уже работает на БАК (Большой Адронный Коллайдер).

Расчет БАКа происходит за счет распределения нагрузки между компьютерами пользователей. Это говорит о том, что каждый персональный компьютер может стать маленькой частичкой вычислителя в большой сети. Нагрузка на СЭВМ (Супер ЭВМ) спадает, тем самым вычисления становятся точнее и выходят из вычислителя быстрее.

Нельзя обходить и квантовые технологии. Квантовые компьютеры могут играть значительную роль в улучшении прогнозов погоды. Благодаря своей способности обрабатывать и анализировать огромные объемы данных за короткое время, они могут помочь ученым более точно моделировать погодные явления и предсказывать их развитие.

Квантовые компьютеры также способны решать сложные задачи оптимизации, что может быть полезно при создании более эффективных моделей прогноза погоды. Кроме того, они могут использоваться для анализа большого количества данных с различных источников, что поможет улучшить точность прогнозов и предотвратить серьезные последствия экстремальных погодных явлений.

Список литературы

1. Бенистон, Мартин (1998). От турбулентности к климату: численные исследования атмосферы с иерархией моделей.

Некрасов Т.Д. и др. Использование математической модели атмосферных уравнений для численного прогнозирования погоды NWP в гражданской авиации/Некрасов Т.Д., Лозница С.Ю., Дроц Т.С., Боровикова Д.В.// Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2024. – Т. 9 № 6(44) с. 34–39

2. Блум, Эндрю (2019). Машина погоды: путешествие внутрь прогноза. Нью-Йорк: HarperCollins.
3. Роулстоун, Ян и Норбери, Джон (2013). Невидимый в шторме: роль математики в понимании погоды. Издательство Принстонского университета.
4. А.В. Старченко, Л.И. Кижнер, Е.А. Данилкин, Е.А. Шельмина, С.А. Проханов. (2022) Численное моделирование погоды и качества атмосферного воздуха в городах.

References

1. Beniston, Martin (1998). From turbulence to climate: numerical studies of the atmosphere with a hierarchy of models.
 2. Bloom, Andrew (2019). The weather machine: a journey inside the forecast. New York: HarperCollins.
 3. Rowstone, Jan and Norbury, John (2013). Invisible in a Storm: The role of mathematics in understanding the weather. Princeton University Press.
 4. A.V.Starchenko, L.I.Kizhner, E.A.Danilkin, E.A.Shelmina, S.A.Prokhanov. (2022) Numerical modeling of weather and atmospheric air quality in cities.
-